

การทดลองที่ 8

เรื่อง โพลาริเซชันของแสง

วัตถุประสงค์

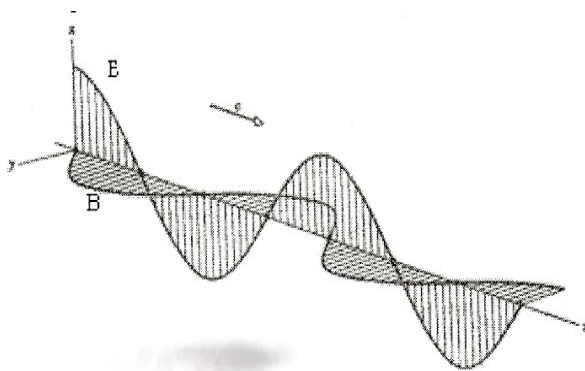
1. ศึกษากฎของมาลุส (the law of malus)
2. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของแสงโพลาไรซ์ (polarized light) ที่ผ่านแผ่นโพลาไรซ์ (Polaroid) กับมุมที่หมุนแผ่นโพลาไรซ์ไป

ทฤษฎี

ปรากฏการณ์โพลาไรเซชัน เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นกับคลื่นตามขวางเท่านั้น โดยคลื่นแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ประกอบไปด้วยสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า ซึ่งที่เวลาใดๆ สนามทั้งสองมีทิศทางตั้งฉากซึ่งกันและกันและมีทิศทางตั้งฉากกับแนวทางการเคลื่อนที่ของคลื่นอีกด้วย ดังนั้นแสงจึงมีลักษณะเป็นคลื่นตามขวาง และสามารถแสดงปรากฏการณ์โพลาไรเซชันได้

ในการศึกษาเกี่ยวกับปรากฏการณ์โพลาไรเซชันในที่นี้จะศึกษากรณีที่มีลักษณะเชิงเส้น คลื่นแสงเป็นคลื่นระนาบ สนามไฟฟ้าจะมีการสั่นที่ขนานกันเสมอไม่ว่าจะอยู่ที่ตำแหน่งใดๆ

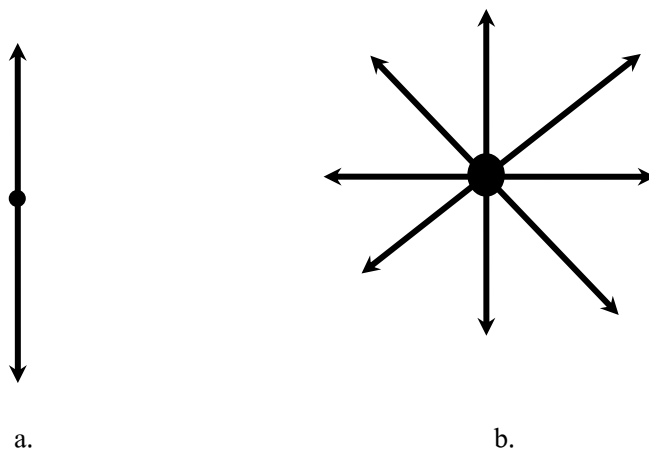
แสงในธรรมชาติ, แสงจากหลอดไฟจะเป็นแสงที่ไม่โพลาไรซ์(Unpolarized light) คือ จะมีทิศทางของสนามไฟฟ้าสั่นในทุกทิศทาง แต่ในกรณีของแสงโพลาไรซ์(Polarized light)จะมีทิศทางการสั่นของสนามไฟฟ้าในทิศทางเดียวเท่านั้น ดังแสดงในรูป 1.2



รูปที่ 1.1 การเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งมีทิศทางของสนามแม่เหล็กตั้งฉากกับสนามไฟฟ้า

ถ้าเปรียบเทียบแล้วก็คล้ายกับให้คลื่นในเส้นเชือกผ่านช่องเปิดขนาดเล็ก ถ้าแนวการสั่นของคลื่นอยู่ในแนวเดียวกับช่องเปิด คลื่นที่ผ่านช่องเปิดออกมามีลักษณะเหมือนเดิม แต่ถ้าทิศทางการสั่นอยู่ในแนวตั้งฉาก ก็จะทำให้แอมพลิจูดของคลื่นนั้นเป็นศูนย์

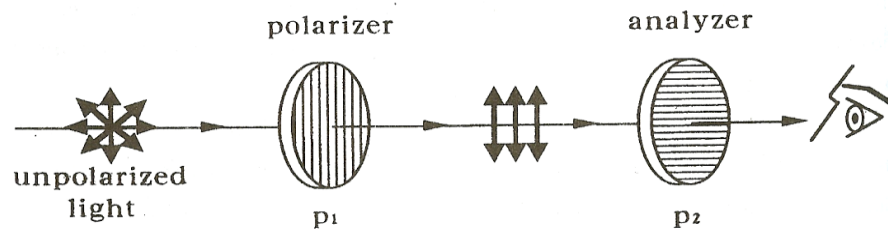
เราสามารถทำให้แสงธรรมชาติกลายเป็นแสงโพลาไรซ์ได้โดยใช้แผ่นกรองที่มีชื่อทางการค้าว่า โพลารอยด์ (Polaroid) แผ่นโพลารอยด์จะยอมให้สนามไฟฟ้าของแสงผ่านได้ในแนวเดียวคือในแนวที่ขนานกับแกนโพลาไรซ์ของแผ่นโพลารอยด์ ซึ่งแสดงด้วยเส้นขนานในรูปที่ 1.3 สำหรับสนามไฟฟ้าในแนวอื่นที่ไม่ขนานกับแนวแกนของโพลารอยด์จะถูกดูดกลืนไป ในรูปที่ 1.4 แผ่นโพลารอยด์หรือบางที่เรียกว่า โพลาริเซอร์ (polarizer) วางในระนาบเดียวกับหน้ากระดาษ และสมมติว่ามีแสงพุ่งผ่านในแนวตั้งฉากกับระนาบถูกศร E แสดงแนวการสั่นของสนามไฟฟ้าที่เราสุมตัวอย่างออกมา เราสามารถแยกสนามไฟฟ้า \vec{E} ออกมาเป็นสนามไฟฟ้าในแนวแกน x และ y ได้ ซึ่งจะได้ว่า $\vec{E}_x = \vec{E}_0 \sin \theta$ และ $\vec{E}_y = \vec{E}_0 \cos \theta$ จากรูปเราจะพบว่า E_y เท่านั้นที่สามารถผ่านแผ่นโพลาริเซอร์ไปได้



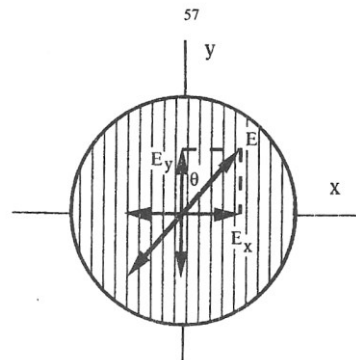
รูปที่ 1.2 a. แสดงลักษณะของแสง polarized

b. แสงธรรมชาติ(Unpolarized light) ประกอบด้วยแสงโพลาไรซ์ในหลายทิศทาง

การนำแผ่นโพลาไรซ์อีกแผ่นหนึ่ง (P_2) มาวางไว้หลังแผ่นแรก โพลาไรซ์แผ่นหลังนี้เรานิยมเรียกว่าแอนาไลเซอร์ (analyzer) ดังแสดงในรูปที่ 1.3 ถ้าเราหมุนแผ่นแอนาไลเซอร์ไปรอบแนวทิศทางการเคลื่อนที่ของแสง เราจะพบว่าเมื่อแนวแกนโพลาไรซ์ของแผ่นโพลาไรซ์ทั้งสองตั้งฉากกัน ความเข้มของแสงที่ผ่านออกมาจะมีค่าเกือบเป็นศูนย์ ถ้าแอมพลิจูดของแสงโพลาไรซ์ที่ตกลงบน P_2 มีค่าเป็น \vec{E}_m แอมพลิจูดของแสงที่ทะลุออกมาจาก P_2 จะมีค่าเป็น $\vec{E}_m \cos \theta$ โดยที่ θ เป็นมุมระหว่างแนวแกนโพลาไรซ์ของ P_1 และ P_2



รูปที่ 1.3 แสงธรรมชาติเมื่อส่องบนแผ่นโพลาไรซ์สองแผ่นที่วางในแนวแกนโพลาไรซ์ตั้งฉากกัน แสงจะไม่สามารถผ่านไปได้



รูปที่ 1.4 สนามไฟฟ้า \vec{E} ของแสงอาจแตกเป็นสนามในแกน x และแกน y แต่สนามไฟฟ้าในแกน y (\vec{E}_y) เท่านั้นที่สามารถผ่านแผ่นโพลาไรซ์ออกมาได้

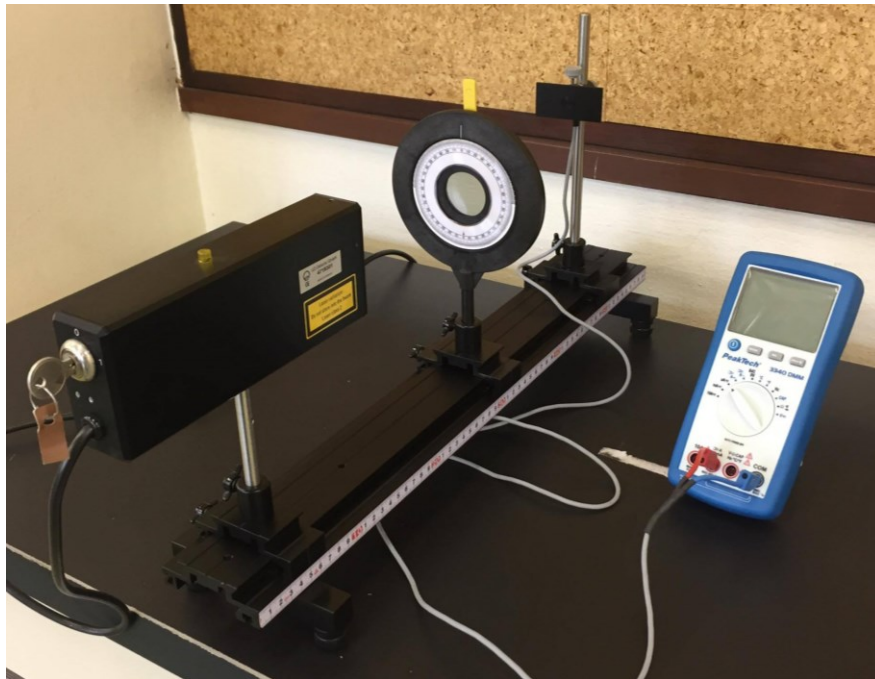
แต่ความเข้ม I ของลำแสงใดๆ จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกำลังสองของแอมพลิจูดของแสงนั้น ดังนั้นเราจะได้ความสัมพันธ์ว่า

$$I = I_m \cos^2 \theta \quad (1.1)$$

โดยที่ I_m เป็นความเข้มสูงสุดของลำแสง ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อแนวแกนโพลาไรซ์ของ P_1 และ P_2 ขนานกัน หรือ $\theta = 0$ หรือ 180 องศา สมการ (1.1) นี้เรียกว่า กฎของมาลัส (the law of Malus) ซึ่งถูกค้นพบโดย Etienne

Louis Malus (พ.ศ. 2318-2355) จากการทดลองเมื่อปี พ.ศ. 2352 เป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณหาความเข้มแสงที่ผ่านไปได้ ซึ่งปริมาณความเข้มแสงจะแปรผันตรงกับกำลังสองของโคไซน์ของมุมระหว่างแผ่นโพลาไรซ์ทั้งสอง (polarizer และ Analyzer)

ในการทดลองนี้เราให้แสงเลเซอร์ซึ่งเป็นแสงโพราไรซ์ ที่มีความเข้มคงที่ ผ่านแผ่นแอนาไลเซอร์ ไปตกลงบนตัวรับแสงแล้วทำการวัดค่าความเข้มของแสงในรูปแบบของค่ากระแส i_A โดยขณะที่ $\theta = 90$ หรือ 270 องศา ความเข้มของแสงในสมการที่ 1.1 นั้นควรมีค่าเป็นศูนย์ แต่เนื่องจากการดุดกลืนแสงของแผ่นโพลาไรซ์เป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ ดังนั้นจึงยังคงมีแสงผ่านแอนาไลเซอร์ได้ อย่างไรก็ดีถ้าให้ความเข้มของแสงผ่านตัวรับแสงในกรณีดังกล่าวเป็น i_u แล้วเราสามารถหาค่า $i_A - i_u$ เป็นตัวแทนของความเข้มแสง I ที่ผ่านแอนาไลเซอร์ได้อย่างสมบูรณ์



รูปที่ 1.5 แสดงรูปเครื่องมือการทดลองของมาลุส

อุปกรณ์

1. เลเซอร์	1	เครื่อง
2. แผ่นโพลารอยด์	1	แผ่น
3. ตัวรับแสง	1	ตัว
4. มัลติมิเตอร์	1	ตัว

วิธีทำการทดลอง

1. หมุนแผ่นโพลารอยด์หาค่า i_{\max} (ตำแหน่งที่มีค่ามากที่สุด)
2. กำหนดให้ตำแหน่งที่เจอค่า i_{\max} เป็นตำแหน่งเริ่มต้น 0 องศา
3. หมุนแผ่นโพลารอยด์ ครั้งละ 10 องศา พร้อมกับบันทึกค่า i_A ที่อ่านได้บนมัลติมิเตอร์
4. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย
5. ค่า i_A ที่มุม $\theta = 90$ (หรือ 270 องศา) คือค่า i_d (ใช้ค่าที่น้อยที่สุด) นำค่า i_d ไปลบค่า i_A ที่ได้จากการทดลองในตอนต้น ที่มุม $\theta = 0$ จะได้ $i_A - i_d = i_{\max}$, ที่มุม $\theta = 90$ จะได้ $i_A - i_d = 0$
6. นำค่าที่ได้จากข้อที่ 5 มาพิจารณาว่าเป็นไปตามกฎของมาลูส์ในสมการที่ (7.1) หรือไม่ โดยใช้ i_{\max} จากข้อที่ 5

เอกสารอ้างอิง

1. Richards, J.A., Sears, F.W., Wehr, M.R., and Zemansky, M.W., Modern University Physics, Addison-Wesley
2. Halliday, D. and Resnick, R., Physics, combined 3 rd., John Wiley and Sons, 1978, pp. 1069-1075.
3. สถาพร อุดมสิน “ทำโฟโตทรานซิสเตอร์ขึ้นใช้เอง” เซมิกอนดักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์, ปีที่ 2 ฉบับที่ 12 (ตุลาคม 2520), หน้า 42-45.
4. จันทรัชย์ หญิงประยูร “รังสีจากวัตถุดำ” วารสารวิทยาศาสตร์, ปีที่ 30 ฉบับที่ 1 (มกราคม 2519) , หน้า 23-26.

บันทึกผลการทดลองที่ 8
โพลาริเซชันของแสง

กฎของมาลูส์ คือ $i = i_{\max} \cos^2 \theta$ (สมการ)

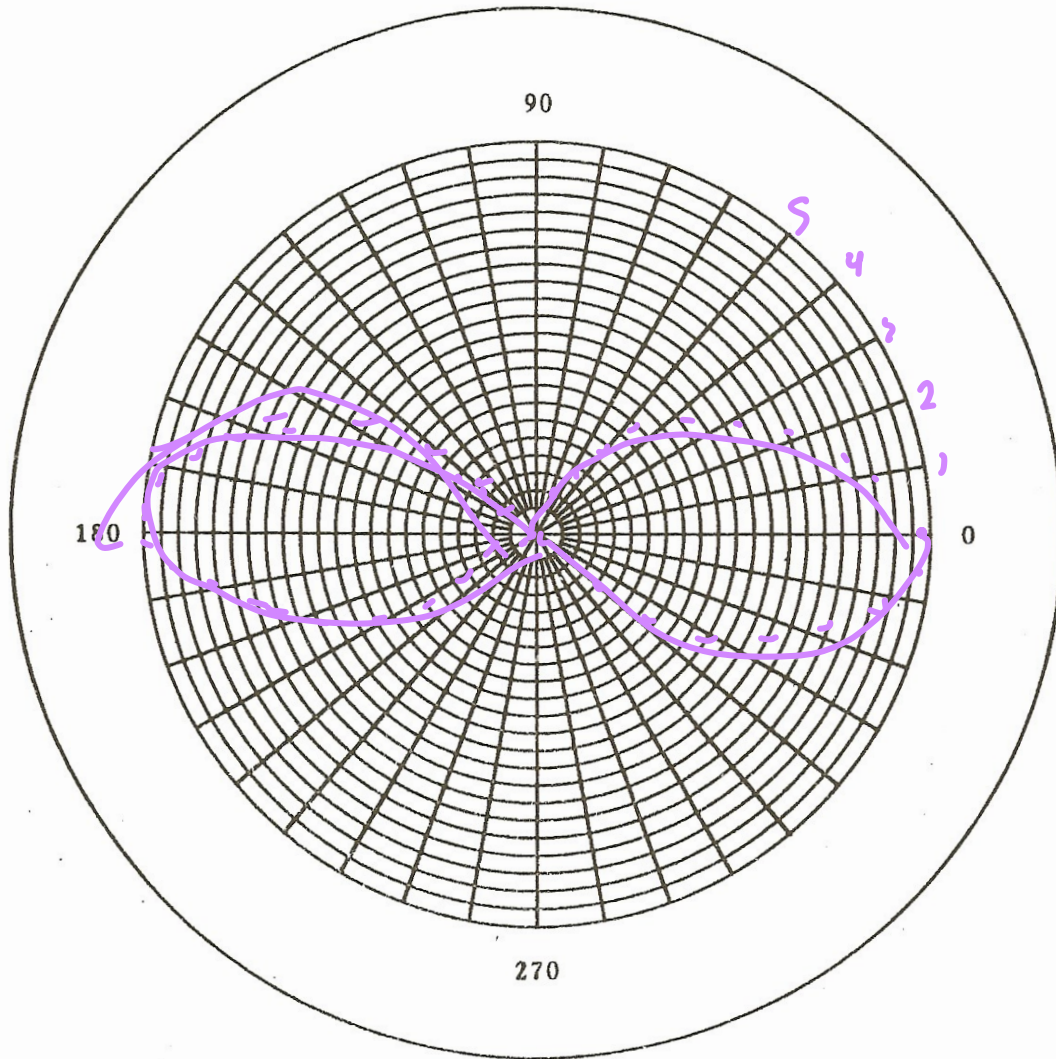
θ (องศา)	i_A (mA)				$i = i_A - i_d$	$i = i_{\max} \cos^2 \theta$
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		
0	119.9	98.0	105.4	107.467	$i_{\max} = 107.200$	107.200
10	112.8	82.6	104.2	99.867	99.600	103.968
20	108.8	76.7	91.0	92.167	91.900	94.659
30	90.9	65.3	73.6	76.600	76.333	80.400
40	75.6	50.9	61.7	62.733	62.466	62.908
50	47.6	33.7	40.6	40.633	40.366	44.292
60	30.2	23.8	25.7	26.567	26.300	26.800
70	15.0	10.5	13.6	13.033	12.766	12.540
80	3.9	3.0	4.3	3.733	3.466	3.232
90	0.1	0.1	0.6	$I_d = 0.267$	0	0
100	2.6	2.2	1.0	1.933	1.666	3.232
110	11.4	8.9	8.5	9.600	9.333	12.540
120	26.5	21.2	21.5	23.067	22.800	26.800
130	46.9	38.2	36.6	40.567	40.300	44.292
140	65.7	53.9	52.9	57.500	57.233	62.908
150	79.2	73.6	67.4	73.400	73.133	80.400
160	99.2	81.9	88.6	89.900	89.633	94.659
170	100.3	81.4	105.5	95.733	95.460	103.968
180	110.5	87.2	101.0	99.567	99.300	107.200
190	109.3	94.6	93.9	99.267	99.000	103.968
200	94.2	67.6	91.8	84.533	84.266	94.659

ทศ.200 ทศ.๖๖

θ (องศา)	i_A (mA)				$i = i_A - i_d$	$i = i_{\max} \cos^2 \theta$
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		
210	80.4	56.0	74.5	70.300	70.033	80.400
220	68.1	40.1	58.0	55.400	55.133	62.908
230	47.9	31.1	38.8	39.267	39.000	44.292
240	25.8	20.0	22.5	22.767	22.500	26.800
250	11.8	7.4	12.5	10.567	10.300	12.540
260	2.9	2.5	3.6	3.000	2.733	3.232
270	0.1	0.1	0.3	0.167	0	0
280	4.7	3.4	3.3	3.800	3.533	3.232
290	14.1	10.3	11.7	12.033	11.766	12.540
300	31.5	22.9	26.0	26.800	26.533	26.800
310	42.1	33.6	40.8	38.833	38.566	44.292
320	68.3	58.7	58.9	61.967	61.700	62.907
330	81.3	74.5	75.5	77.100	76.833	80.400
340	94.4	90.7	86.1	90.400	90.133	94.659
350	105.7	100.7	89.4	98.600	98.333	103.968
360	119.1	102.8	90.9	104.267	106.933	107.200

เขียนกราฟ ระหว่าง i กับ θ บนกระดาษกราฟ POLAR GRAPH ทั้งสองค่า มีในแผ่นเดียวกัน

POLAR GRAPH



อัตราส่วน 1 ช่อง เท่ากับ.....**5**.....(.....)

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง